

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 21620101152284

UDC_____

厦门大学

硕士学位论文

福建漳江口两种养殖模式下缢蛏食物来源
的稳定同位素研究

**Stable Isotopic Studies on the Food Sources of the
Razor Clams (*Sinonovacula constricta*) in Two
Cultivation Modes in Zhangjiangkou Estuary, Fujian**

黄茜

指导教师姓名: 林光辉 教授

高亚辉 教授

专业名称: 生态学

论题提交日期: 2013 年 05 月

论文答辩时间: 2013 年 05 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: 俞 慎

评 阅 人: _____

2013 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为“外来植物影响下红树林生态系统服务功能的维持机制”和“新兴经济区滨海湿地生态系统修复技术与工程示范”课题(组)的研究成果,获得国家自然科学基金重点项目(30930017)和国家海洋局海洋公益性行业科研专项项目(200905009)课题(组)经费或实验室的资助,在海岸生态与湿地工程和清华大学深圳研究生院实验室完成。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 双壳纲贝类动物的生态功能.....	1
1.2 双壳纲贝类动物的经济价值.....	3
1.3 缢蛏及其养殖研究现状.....	4
1.3.1 缢蛏的生物学特性.....	4
1.3.2 缢蛏的养殖模式和方法.....	6
1.4 红树林与底栖动物食物来源.....	7
1.5 稳定同位素技术与动物食物源研究.....	8
1.6 本研究的目的和意义.....	11
第二章 滩涂模式下缢蛏的食物来源	13
2.1 前言	13
2.2 材料与方法.....	14
2.2.1 实验样地.....	14
2.2.2 样品采集与前处理.....	15
2.2.3 样品分析.....	17
2.2.4 食物源贡献比例计算.....	17
2.2.5 统计分析.....	18
2.3 结果.....	18
2.3.1 滩涂模式环境潜在食物源的动态变化.....	18
2.3.2 滩涂缢蛏的生长情况.....	20
2.3.3 滩涂环境潜在食物源与缢蛏碳氮同位素组成.....	21
2.3.4 滩涂缢蛏的食物来源.....	23

2.4 讨论.....	25
第三章 池塘模式下缢蛏的食物来源.....	29
3.1 前言.....	29
3.2 材料与方法.....	30
3.2.1 实验样地.....	30
3.2.2 样品采集与前处理.....	32
3.2.3 样品分析.....	32
3.2.4 统计分析.....	33
3.3 结果.....	33
3.3.1 池塘模式的养殖环境.....	33
3.3.2 池塘缢蛏的食物来源.....	35
3.3.3 池塘模式和滩涂模式的比较.....	38
3.4 讨论.....	42
第四章 结论和展望	46
4.1 主要结论.....	46
4.2 展望.....	46
参考文献	48
致谢.....	56

Content

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English).....	III
Chapter 1 Preface	1
1.1 Ecological function of bivalves.....	1
1.2 Economic value of bivalves	3
1.3 Razor clams and cultivation and reasearch state.....	4
1.3.1 Biological characteristics of razor clams.....	4
1.3.2 Cultivation modes of razor clams	6
1.4 Studies on food sources of mangrove macro-benthic fauna.....	7
1.5 Application of stable isotope on food sourcing.....	8
1.6 Objectives of this study.....	11
Chapter 2 Food sources of razor clams in mudflat mode	13
2.1 Preface.....	13
2.2 Materials and methods	14
2.2.1 Study area	14
2.2.2 Field sampling and processing	15
2.2.3 Analyses of samples.....	17
2.2.4 Calculation of contributions of food sources.....	17
2.2.5 Statistical analyses	18
2.3 Results	18
2.3.1 Variations of food sources of in mudflat habitat.....	18
2.3.2 Growth state of mudflat razor clams	20
2.3.3 Stable isotope compositions of potential food sources and razor clams in mudflat habitat.....	21
2.3.4 Food sources of mudflat razor clams.....	23

2.4 Discussion	25
Chapter 2 Food sources of razor clams in pond mode	29
3.1 Preface.....	29
3.2 Materials and methods	30
3.2.1 Study area	30
3.2.2 Field sampling and processing	32
3.2.3 Analyses of samples.....	32
3.2.4 Statistical analyses	33
3.3 Results	33
3.3.1 Variations of food sources of in pond habitat	33
3.3.2 Food sources of pond razor clams	35
3.3.3 Comparisons of pond and mudflat mode.....	38
3.4 Discussion	42
Chapter 4 Conclusions and prospects.....	46
4.1 Conclusions.....	46
4.2 Propects.....	46
References	48
Acknowledgements	56

摘要

缢蛏 (*Sinonovacula constricta*), 隶属于软体动物门双壳纲, 具有影响初级生产者数量、种类和分布以及承接初级生产者与更高级别消费者的生态学作用, 并为沿海当地居民带来巨大的经济利益。在福建漳江口地区, 缢蛏养殖业属于支柱产业, 当地居民通过两种典型的养殖模式来获取缢蛏, 分别是滩涂管理养殖模式 (简称滩涂模式) 和池塘半精养养殖模式 (简称池塘模式)。然而, 目前对不同养殖模式下缢蛏的食物来源研究未见报道。本研究测定了滩涂和池塘两种生境中缢蛏及其潜在食物来源的碳氮稳定同位素组成, 使用两组稳定同位素分馏值与碳氮稳定同位素混合模型分析了各食物源对滩涂和池塘缢蛏提供的营养支持情况, 同时还测定了两种养殖模式下缢蛏的生长和基本营养指标, 讨论了食物来源差异对缢蛏食用和经济价值的影响, 旨在为更好地评价和管理缢蛏养殖模式提供生态学依据。主要结果与结论分述如下:

1. 滩涂模式下的缢蛏在各生长阶段摄取的食物不同, 受到环境食物源季节性变化的影响, 表现出机会摄食的特征: 蛏苗期 (秋季) 和一龄后期 (春夏季), 从近海海洋系统进入滩涂水体的海源浮游植物生物量较大, 相应地缢蛏主要食物来源为近海海源浮游植物 (蛏苗期: 47%; 一龄后期: 65%); 而一龄前期 (冬季), 滩涂水体中的颗粒悬浮物中, 近海海源浮游植物所占比重降低, 红树林来源的植物碎屑比重增高, 使得缢蛏主要食物源转为红树植物碎屑 (52%) 和固氮细菌 (40%)。当缢蛏处在以近海海源浮游植物为主要食物源的时期其生长较快。

2. 池塘模式下的缢蛏, 在整个养殖周期内自然生态系统 (包括红树林和近海海洋) 仅为其提供很有限的营养支持 (蛏苗期: 4.5%; 一龄前期: 3%; 一龄后期: 0%)。“肥水”输入所增加的肥水塘浮游植物和养殖塘底栖微藻在缢蛏生长的不同时期发挥了重要作用: 蛏苗期幼年蛏大量摄食养殖塘底栖微藻 (71%), 一龄前期的小蛏开始转向大量取食肥水塘输入的浮游植物 (69%), 一龄后期的成年蛏完全摄食肥水塘浮游植物 (100%)。由此可见, 从食物来源的角度, 池塘模式的缢蛏并不依赖自然生态系统, 而很大程度地还是依赖人为的饵料投入。

3. 池塘缢蛏比滩涂缢蛏更大、更肥, 并具有更高的经济价值和一般营养价值。这一现象很可能因为两种养殖模式主要食物来源差异造成的, 充分说明了当

地缢蛏养殖池塘模式的科学性。

关键词：缢蛏；滩涂模式；池塘模式；红树林；稳定同位素；食物来源

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Coupling pelagic and benthic processes as well as primary producers and higher consumers in estuarine-coastal food webs, filter-feeding bivalve razor clam (*Sinonovacula constricta*) is one of the most important cultivated shellfishes, which is also commercially important by providing significant income to local farmers. In Zhangjiangkou Estuary of Fujian province, China, sustainable mudflat management and cultivation mode (short for mudflat mode) and semi-intensive pond cultivation mode (short for pond mode) are the two major cultivation modes implemented in the razor clam aquaculture. However, there is still no report on food sourcing of this important shellfish under different modes of cultivation. In this study, carbon and nitrogen stable isotopes were analyzed to determine potential food sources and relative utilization by razor clams from the intertidal mudflat and pond habitats in Zhangjiangkou Estuary. We also measured the growth and nutritional parameters of razor clams under these two different cultivation modes and evaluated possible effects of differential diets on the quality of razor clams. The objective of this study was to provide ecological evidence and suggestions to further understanding and management of razor clam culturing. The main results and conclusions are summarized as follows:

1. In mudflat mode, razor clams were opportunists in food sourcing by changing its diet during different growth stages depending on the seasonally changed availability of food sources in the environment. In the growth stages of spat (autumn) and adult (spring-summer), marine phytoplankton was the primary food source (Spat: 47%; Adult: 65%) for razor clams, coinciding with spring-summer and autumn's large biomass of phytoplankton. However, mangrove detritus and its attached cyanobacteria were most important food sources (52% and 40%, respectively) for juvenile razor clams during the period when abundance of phytoplankton is too low to satisfy their energy needs. The growth rate of razor clams were well correlated with the

chlorophyll *a* concentrations, with high growth rate mainly fueled by phytoplankton.

2. In pond mode under which the habitat was semi-closed, food sources from natural ecosystems such as mangrove forests or nearby marine ecosystem appeared to contribute little (Spat: 4.5%; Juvenile: 3%; Adult: 0%) to the nutritional needs of razor clams during the entire growth stages. In contrast, the large quantity of phytoplankton resulted from by anthropogenic inputs contributed substantially the diets of razor clams, which also varied among different growth stages. There was an ontogenetic trophic shift with spat razor clams relying more on benthic microalgae (71%) but a gradual tendency for juvenile razor clams feeding more (69%) and adult razor clams feeding entirely (100%) on phytoplankton produced anthropogenically.

3. In comparison to the mudflat mode, the anthropogenically grown phytoplankton in the pond cultivation mode changed the basic diets of razor clams dramatically, which also made them grow faster, fatter and with higher main nutrition values. This finding confirmed the scientific principles for local pond cultivation practices.

Keywords: food sources; mangrove; mudflat mode; razor clams; pond mode; stable isotope

第一章 绪论

双壳纲贝类是滨海湿地生态系统的常见动物类群^[1]，由于其滤食的摄食习性使得它们在滨海湿地环境中具有重要的生态学地位，作为滨海湿地水生食物网中不可或缺的一环，它们不仅对底栖和浮游群落起着耦合作用^[2]，也是初级生产者进入食物网的通道^[3]。许多双壳纲贝类还是重要的海水养殖经济物种，对当地水产养殖产业贡献重大^[4]。缢蛏（*Sinonovacula constricta*）作为我国四大经济贝类之一^[5]，分布在我国由北至南（北纬 40°~北纬 20°）大部分的海岸潮间带地区，具有很高的经济价值，对它的研究和开发利用已受到越来越多的重视^[6]。缢蛏养殖业是福建省漳江河口地区重要特色产业，当地居民通过两种典型的养殖模式获取缢蛏，包括滩涂管理养殖模式和池塘半精养养殖模式（后面文中分别简称为滩涂模式和池塘模式）。从食物来源的角度，滩涂模式下的缢蛏与红树林生态系统、滩涂系统和近海海洋生态系统存在什么样的关系？池塘模式中的缢蛏与附近的自然生态系统和人为输入“肥水”增加的食物源的关系又如何？本研究利用碳氮稳定同位素技术，比较了两种养殖模式下缢蛏的食物来源异同，以为缢蛏养殖的合理管理、提高缢蛏养殖的生态和经济效益提供科学依据。在综述现有的文献基础上，本章依次介绍双壳纲贝类动物的生态功能（1.1）、双壳纲贝类动物的经济价值（1.2）、缢蛏及其养殖和研究现状（1.3）、红树林与底栖动物食物来源（1.4）、稳定同位素技术与动物食物来源研究（1.5）以及本研究的目的意义（1.6）。

1.1 双壳纲贝类动物的生态功能

双壳纲贝类动物隶属于软体动物门，是全球滨海湿地生态系统中重要的动物类群。它们不仅种类繁多，现已在海岸潮间带和深海中发现了约 7500 个物种^[7]，并且具有很高的生物量。在温带珊瑚礁生态系统中，双壳纲贝类可占大型无脊椎动物总生物量的 70% 以上^[8]，而在海岸潮间带，其生物量也达到了大型无脊椎动物总生物量的 30~60%，在特定海区，双壳纲贝类往往可以形成大型群落，如贻贝床、牡蛎礁等^[9]。

根据栖息的位置可将双壳纲贝类分为底上生活型和底内生活型，也有些贝类采取兼性生活型^[10]。由于它们活动范围较小，不能够自由挑选或追捕食物，因

此几种生活型的贝类具有统一的摄食机制,主要依靠过滤作用而获取食物。水体中半径大于 $3\ \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物经过进水管的吸入,到达外套膜腔后,在前纤毛的作用下运送至唇瓣。唇瓣是筛选食物的地方,通过物理化学作用筛选某些颗粒送入食道进入胃中,进行进一步的消化选择作用^[10],而未进入食道的颗粒以假粪的形式排出。至于什么样的食物才是滤食性双壳贝类保留下来的食物,目前还是个未知数。双壳纲贝类对摄入颗粒的“选择”是复杂的,与双壳纲贝类的种类有关^[11],与颗粒的物理和化学性质有关^[12],与可利用食物的时空分布有关^[4]。

位于海岸潮间带的滨海湿地具有各种复杂的有机物来源,主要来自水体和沉积物的颗粒物,其中水体的悬浮颗粒包括不同大小的浮游植物、植物碎屑和细菌及微生物,沉积物中主要含有底栖微藻和细菌等有机质^[13]。环境中有机物来源的多样性直接导致了双壳纲贝类食物组成的复杂性。许多研究结果认为,浮游植物是河口和海岸带双壳纲贝类的重要食物源。例如,西班牙北部海洋主导的海岸带生态系统中双壳纲贝类的主要食物来源是浮游植物和底栖微藻^[14]。Xu 和 Yang (2007)发现胶州湾的两种双壳纲贝类长牡蛎和紫贻贝的主要食物来源是浮游植物(贡献比例为 86.2~89.0%)^[4]。但也有很多研究指出其他食物源的重要性,例如 Perterson 等(1985)在对盐沼生态系统食物网的研究中发现,牡蛎和贻贝利用了大量的互花米草碎屑^[15]。Granek 等(2009)对珊瑚礁生态系统食物网的研究里,火焰贝利用了 20~40%的红树碎屑^[16]。Bachoket 等(2003)对栖息于红树林生态系统里的泥蛤食物来源的脂肪酸研究也显示了红树碎屑和凋落物上群聚附生的细菌作为底栖动物食物来源的重要性^[17]。而 Landon (1990)用 ^{15}N 标记的方法发现盐沼系统中的附生与非附生菌满足了贻贝 70.6%的氮代谢能量^[18]。综上,不同生境滤食性双壳纲贝类食物来源差异取决于环境中有机质来源的差异。

双壳纲贝类的生态学作用主要体现在以下几个方面。①对水体浮游植物群落的影响:由于双壳纲贝类个体有很强的滤水能力,如扇贝、贻贝和牡蛎的滤水率都可达 $5\ \text{L g}^{-1}\ \text{dw h}^{-1}$ ^[19-21],加上其庞大的生物量,使得它们在摄食过程中大量滤食水体和底质的有机颗粒,从而影响底栖食物网中浮游植物群落的数量、组成和分布^[22],许多研究已经证明了对海区水体的浮游植物群落组成产生强大的下行(top-down)控制效应^[23]。而控制浮游植物的数量意味着控制了浮游植物对营养盐的利用,从而进一步对海区的营养盐状况产生影响^[1, 24, 25]。②对底栖微藻群落

的影响：双壳纲贝类可以通过直接摄食底栖微藻^[26]，影响底栖微藻的丰度。也可通过大量滤食浮游植物降低水体浊度，促进底栖微藻群落的生长^[27]。还可以通过生物沉积作用，影响底质的生物地球化学循环过程，从而影响底栖微藻的生长^[13]。③对初级生产力和更高级别消费者有承接作用：研究滤食性双壳纲贝类的食性，可以确定初级生产力或有机碎屑流向等信息^[28]。从整个水生生态系统食物网的角度上看，滤食性双壳纲贝类是初级生产者和更高级别消费者物质和能量循环的连接点^[29]。鉴于双壳纲贝类在滨海湿地生态系统物质循环和能量流动中的重要地位（图 1.1），研究和确定河口滤食性双壳纲贝类的食物来源，是深入了解滨海湿地水生食物网能量和物质流动的前提条件^[14]，具有重要生态学意义。

滤食性双壳纲贝类在滨海湿地生态系统物质能量流动中的地位可以通过图 1.1 来概括表述。

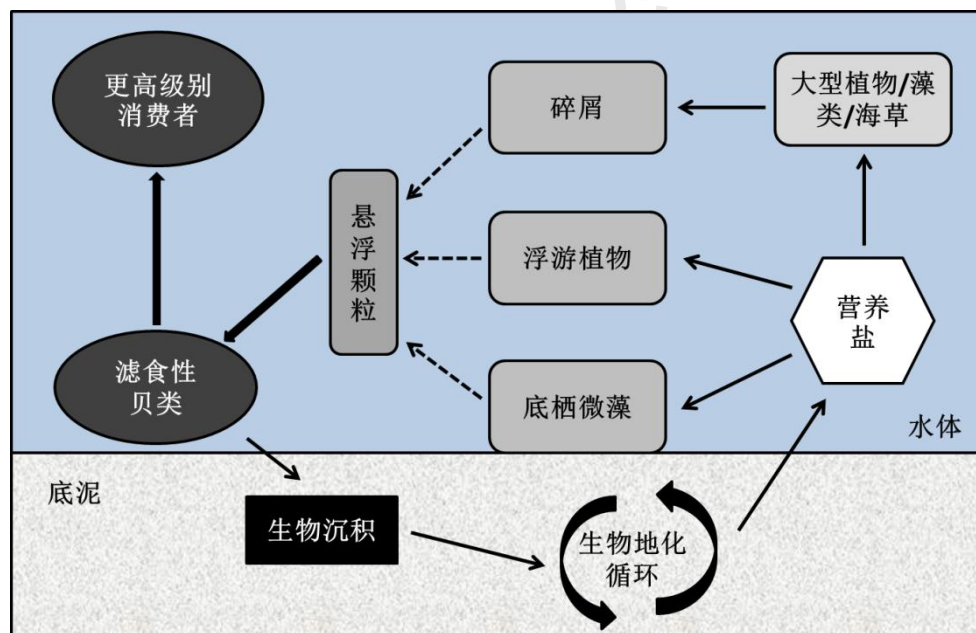


图 1.1 滤食性双壳纲贝类摄食的生态学效应概念图

Fig 1.1 Conceptual diagram for possible ecological effects in feeding of filter-feeding bivalves

1.2 双壳纲贝类动物的经济价值

双壳纲贝类具有很高的经济价值，用途众多，浑身是宝，是极好的海产品^[30]。

绝大多数双壳纲贝类都可食用,由于其肉质鲜嫩,营养丰富,含有众多的蛋白质、无机盐类和各种维生素等,具有很高的食用价值^[31]。不少贝类可以作为药材。例如,缢蛏、蚶、牡蛎、文蛤等贝类的壳和肉,都是不可或缺的中药材^[32]。另外,一些小型贝类的肉质可以作为家禽饲料,碳酸钙的贝壳也是很好的建筑材料。

目前,人们对于海产品的需求量逐年持续增长:全球每人每年消费的海产品量由 1961 年的 9 公斤增加到 16.5 公斤,预计到 2020 年将增加到 17 公斤。水产养殖是解决人类对海产品需求的一个重要途径。亚洲和西太平洋区域水产养殖业发展最快^[33],中国 2009 年水产品产量达到 3.48 千万吨,占世界总产量的 62.5%^[34],位居全球第一。而双壳纲贝类是位居世界第二的主要养殖品种,也是中国滨海湿地海岸潮间带养殖区的主要养殖品种^[34]。据农业部渔业局统计,2010 年全国贝类总养殖产量达到 1108.2 万吨,占海水养殖总产量的 74.8%^[35]。牡蛎、缢蛏、蚶和蛤仔这四种贝类并称为我国的“四大养殖贝类”,在中国滨海湿地海岸潮间带大量养殖,具有重要的经济价值,支持着当地的渔业和经济^[5]。

1.3 缢蛏及其养殖研究现状

1.3.1 缢蛏的生物学特性

缢蛏(*Sinonovacula constricta*)隶属于软体动物门,双壳纲,竹蛏科,缢蛏属^[36]。俗称蛏(福建)、蜻(浙江)或跣(北方),外形被长圆柱形、壳质脆薄的贝壳覆盖,贝壳前后端开口,足和水管由此伸出:足呈斧状,肌肉组织丰富;进水管和出水管是滤水和摄食的器官(图 1.2)^[37]。缢蛏肉质鲜美,营养丰富,并有滋补的药用功能,是滨海湿地海岸潮间带的常见海水养殖物种^[38]。

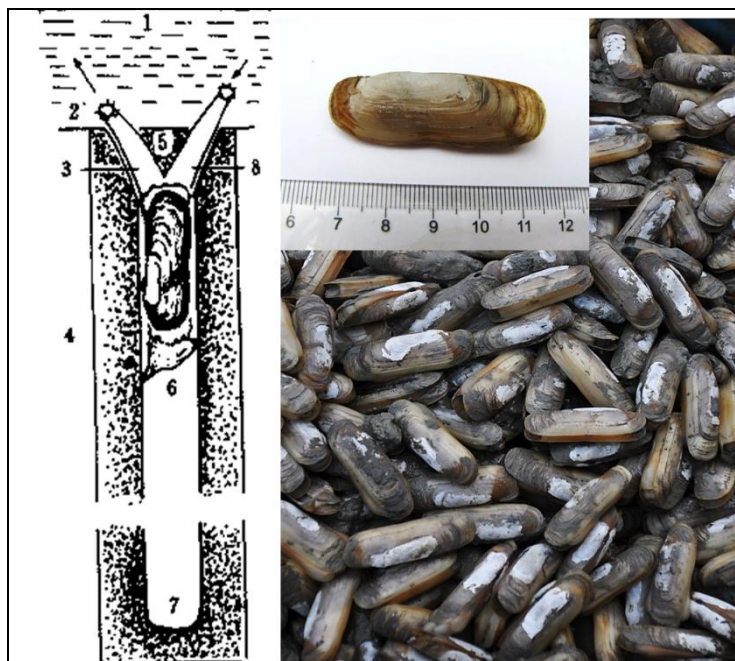


图 1.2 缢蛏 (*S. constricta*) (右) 和缢蛏栖居摄食示意图 (左^[37])

Fig 1.2 Razor clam (*S. constricta*) (right) and its feeding diagram(left^[37])

缢蛏的繁殖期为每年的 8~11 月，受精卵在海水中完成胚体发育，幼虫经过一到两周的浮游阶段后，下沉附着至底质，变态发育。缢蛏生长经过三个阶段：蛏苗生长期（附着至附着后三个月）、一龄生长期（至产卵前的一年蛏）、二龄生长期（产卵过后的二年蛏）。稚贝附着至滩涂，经历约一个月的蛏苗生长期，逐渐稳定下来，开始在滩涂上营穴居生活。蛏苗生长期的后一个月生长速度加快。随后缢蛏幼苗进入一龄生长期，一龄生长前半期为冬季，生长速度逐步下降；而后进入春夏季，至次年 6 月缢蛏性成熟之前的这段期间，为一龄生长后半期。产卵后之后第二年的缢蛏仅加厚壳的厚度，壳长和肉质几乎不再生长^[37]。由于缢蛏性成熟前后的肉质最为鲜美，养殖户在一龄生长期结束后就将其收获卖入市场。

缢蛏以其广温广盐的特性，广泛分布于西太平洋沿海海域的潮间带，遍布于日本以及中国辽宁、河北、山东、浙江、福建、广东等地沿海各地，是滨海湿地海岸潮间带的重要物种。缢蛏营穴居生活，其斧足在滩涂上掘出管状孔穴，深度随着年龄的生长而加深，一般为其体长的三至八倍^[39]。缢蛏的摄食随着潮汐周期在流水中进行，涨潮时升至洞口，以进出水管伸出洞口约 5 cm，摄食饵料和排泄废物（见图 1.2），退潮后停止摄食，缩回洞中^[38, 39]。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”. Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库